

УДК 621.86-182.7

Структурный синтез и классификация механизмов параллельной структуры с перекрестными связями

В.Г. Певнев¹, Е.В. Диденко¹, Р.А. Чернецов²¹ ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина»² ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук

Structural synthesis and classification of mechanisms of the parallel structure with cross connections

V.G. Pevnev¹, E.V. Didenko¹, R.A. Chernetsov²¹ Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkin"² Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences

Наряду с активным развитием робототехники повышаются требования к механизмам робототехнических устройств. Наиболее полно этим требованиям соответствуют механизмы параллельной структуры. Их выходное звено связано с основанием несколькими кинематическими цепями, что позволяет повысить показатели точности, грузоподъемности и скорости перемещения рабочих органов по сравнению с таковыми для механизмов последовательной структуры. Однако механизмы параллельной структуры имеют такие недостатки, как меньший объем рабочей зоны и недостаточная жесткость при восприятии нагрузки. Основное достоинство механизмов параллельно-перекрестной структуры — способность воспринимать большие нагрузки при сохранении высокой точности позиционирования в пределах рабочей зоны. Рассмотрена классификация механизмов параллельно-перекрестной структуры с разным количеством приводных кинематических цепей. Исследовано влияние количества наложенных связей на степень свободы механизмов в зависимости от числа перекрестных кинематических цепей, их расположения между соседними или противоположными приводными кинематическими цепями, а также от способа присоединения перекрестных кинематических цепей к приводным кинематическим цепям. Полученные в ходе синтеза механизмы и предложенная для них классификация позволят в значительной степени расширить область применения таких устройств в промышленности.

EDN: TUODER, <https://elibrary/tuoder>**Ключевые слова:** механизм параллельно-перекрестной структуры, степень свободы, перекрестная кинематическая цепь, приводная кинематическая цепь, наложенные связи, перекрестные связи

Along with active development of the robotics, requirements to the robotic devices mechanisms are increasing. Parallel structure mechanisms most fully meet these criteria. Their output link is connected to the base by several kinematic chains, which makes it possible to increase accuracy, load capacity and motion speed of the working components compared to those for mechanisms of the sequential structure. However, the parallel structure mechanisms are characterized by such disadvantages as smaller working area and insufficient rigidity at absorbing load. Main advantage of the parallel-cross structure mechanisms is their ability to absorb heavy loads maintaining high positioning accuracy within the working ar-

ea. The paper considers classification of the parallel-cross structure mechanisms with a different number of the drive kinematic chains. It studied the influence of the superimposed connections number on the mechanism degree of freedom depending on the number of cross kinematic chains, their position between the adjacent or opposite drive kinematic chains, as well as on the method of connecting the cross kinematic chains to the drive kinematic chains. Mechanisms obtained during the synthesis and classification proposed for them would significantly expand the scope of application for such devices in the industry.

EDN: TUODER, <https://elibrary/tuoder>

Keywords: parallel-cross structure mechanism, degree of freedom, cross kinematic chain, drive kinematic chain, superimposed connections, cross connections

В настоящее время наблюдается активное развитие робототехники и связанных с нею отраслей промышленности. Требования к показателям разрабатываемых робототехнических устройств постоянно повышаются, в том числе к массогабаритным характеристикам и точности позиционирования рабочих органов механизмов в пределах рабочей зоны.

Этим требованиям наиболее полно соответствуют механизмы параллельной структуры (МПС), получившие широкое распространение в различных областях науки и техники. Выходное звено МПС связано с основанием несколькими кинематическими цепями (КЦ), что позволяет повысить показатели точности, грузоподъемности и скорости перемещения рабочих органов по сравнению с обычными механизмами последовательной структуры. Однако МПС имеют такие недостатки, как меньший объем рабочей зоны и недостаточная жесткость при восприятии нагрузки [1–16].

Указанных недостатков в достаточно большой степени лишены механизмы параллельно-перекрестной структуры. Основное достоинство таких механизмов — отсутствие интерференции при соприкосновении звеньев различных КЦ и присутствие перекрестных КЦ, что позволяет сохранить точность позиционирования в пределах рабочей зоны при увеличении общей жесткости механизма и уменьшении размеров выходного звена.

Главное отличие механизмов параллельно-перекрестной структуры от МПС заключается в наличии перекрестных КЦ, связывающих параллельно расположенные приводные КЦ. Причем эту связь можно реализовать в нескольких вариантах: между ведущими звеньями соседних или противоположных параллельных КЦ; между ведомыми звеньями соседних или противоположных параллельных КЦ; между ведущими и ведомыми звеньями соседних или противоположных параллельных КЦ.

Цель работы — анализ классификации механизмов параллельно-перекрестной структуры и исследование влияния количества наложенных связей на степень свободы и возможность расширения области применения таких устройств в промышленности.

Выполним сравнительный анализ механизмов параллельной и параллельно-перекрестной структуры, используя подход, предложенный в известных работах [7, 12].

Классификация плоских механизмов параллельно-перекрестной структуры (табл. 1) проведена по числу степеней свободы (от 1 до 3) и КЦ (от 3 до 5).

Также выполнена более детальная классификация — по соотношению числа параллельных КЦ и перекрестных КЦ внутри механизмов параллельно-перекрестной структуры с одним и тем же общим числом КЦ. Например, общее число КЦ — 4, число параллельных КЦ — 3,

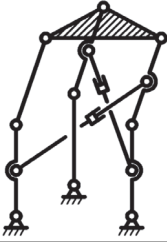
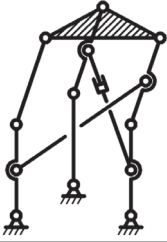
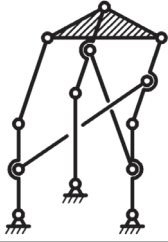
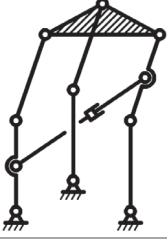
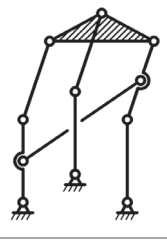
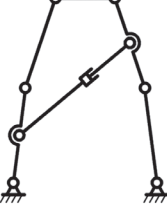
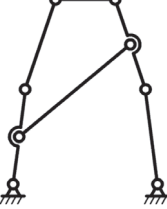
Таблица 1

Классификация плоских механизмов параллельно-перекрестной структуры

Общее число КЦ	Число параллельных КЦ–число перекрестных КЦ	Количество КП пятого класса при числе степеней свободы W		
		3	2	1
5	3–2	333–33	333–23	333–22
4	3–1	333–3	333–2	–
3	2–1	33–3	33–2	–

Таблица 2

Классификация плоских механизмов параллельно-перекрестной структуры в графическом виде

Общее число КЦ	Число параллельных КЦ–число перекрестных КЦ	Схема механизма при числе степеней свободы W		
		3	2	1
5	3–2			
4	3–1			–
3	2–1			–

число перекрестных КЦ — 1 или число параллельных КЦ — 2, число перекрестных КЦ — 2 и т. д.

В каждом варианте классификации слева показано число параллельных КЦ, справа — число перекрестных КЦ. Каждая цифра в классификации соответствует эквивалентному количеству кинематических пар (КП) пятого класса рассматриваемой КЦ.

Более полная классификация исследуемых плоских механизмов параллельно-перекрестной структуры приведена в табл. 2 в графическом виде. Здесь в условных обозначениях показаны КП, входящие в состав параллельных КЦ и перекрестных КЦ.

Рассмотрим хорошо известный МПС с тремя степенями свободы, который имеет две приводные КЦ и выходное звено, совершающее движение в плоскости XU (рис. 1).

Выполним модификацию МПС, показанного на рис. 1, путем добавления структурной группы второго класса второго порядка третьего вида между ведущим и ведомым звеньями соседних приводных КЦ.

Полученный в результате модификации механизм (рис. 2) включает в себя семь подвиж-

ных звеньев, соединенных девятью КП пятого класса, две приводные КЦ, образованные звеньями 1–2, 3–4, и одну перекрестную КЦ 6–7.

Приводные КЦ состоят из звеньев 1–2 и 3–4, связанных вращательными КП пятого класса. Приводные КЦ присоединены к основанию 0 и выходному звену 5 с помощью четырех вращательных КП пятого класса.

Перекрестная КЦ, представляющая собой структурную группу второго класса второго порядка третьего вида, состоит из звеньев 6 и 7, соединенных поступательной КП пятого класса, и создает перекрестную связь между выходным

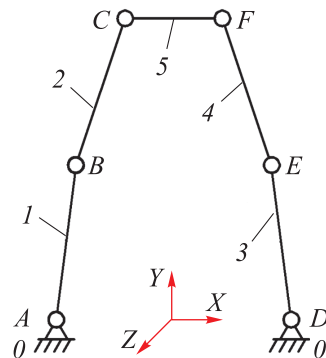


Рис. 1. Схема МПС с двумя приводными КЦ

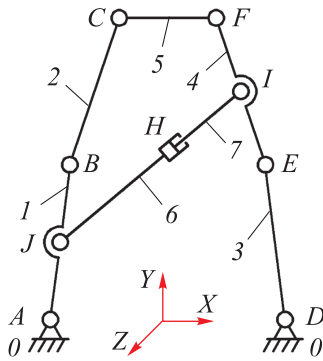


Рис. 2. Схема МПС с двумя приводными КЦ и одной перекрестной КЦ:
1-2, 3-4 — приводные КЦ; 5 — выходное звено;
6-7 — перекрестная КЦ

звеном 4 приводной КЦ 3-4 и входным звеном 1 приводной КЦ 1-2. Перекрестная КЦ связана со звеньями приводных цепей двумя вращательными КП пятого класса.

Полученный механизм является плоским. Число его степеней свободы можно определить по формуле П.Л. Чебышева

$$W = 3n - 2p_n - p_v + q,$$

где n — количество подвижных звеньев; p_n и p_v — количество низших КП и высших КП; q — число избыточных связей.

В качестве низших КП исследуемого механизма использованы КП пятого класса: в составе приводных КЦ — вращательные (A, B, C, D, E, F), в составе перекрестной КЦ — вращательные (J, I) и поступательная (H).

Число степеней свободы созданного механизма

$$W = 3n - 2p_n - p_v + q = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 9 + 0 = 3.$$

Анализ результатов расчета показал, что полученный механизм имеет три степени свободы, как и прототип, приведенный на рис. 2, что подтверждает отсутствие избыточных связей ($q = 0$).

Рассмотрим также хорошо известный МПС с тремя степенями свободы, который имеет три приводные КЦ и выходное звено, совершающее движение в плоскости XY (рис. 3).

Проведем последовательное усложнение МПС, показанного на рис. 3, путем добавления одной, двух и трех структурных групп второго класса второго порядка третьего вида между ведущим и ведомым звеньями соседних приводных КЦ.

Полученный в результате модификации механизм (рис. 4) содержит тринадцать подвижных звеньев, соединенных восемнадцатью КП пятого класса, три приводные КЦ, образованные звеньями 1-2, 3-4, 5-6, и три перекрестные КЦ 8-9, 10-11 и 12-13.

Приводные КЦ включают в себя звенья 1-2, 3-4 и 5-6, связанные вращательными КП пятого класса. Приводные КЦ присоединены к основанию 0 и выходному звену 7 с помощью шести вращательных КП пятого класса.

Перекрестные КЦ, представляющие собой структурные группы второго класса второго порядка третьего вида, состоят из звеньев 8-9, 10-11 и 12-13, соединенных поступательными КП пятого класса, и создают перекрестные связи между входным звеном 1 приводной цепи 1-2 и выходным звеном 6 приводной КЦ 5-6, входным звеном 5 приводной КЦ 5-6 и выходным звеном 4 приводной КЦ 3-4 и входным звеном 3 приводной КЦ 3-4 и выходным звеном 2 приводной КЦ 1-2. Перекрестные КЦ соединены со звеньями приводных КЦ шестью вращательными КП пятого класса.

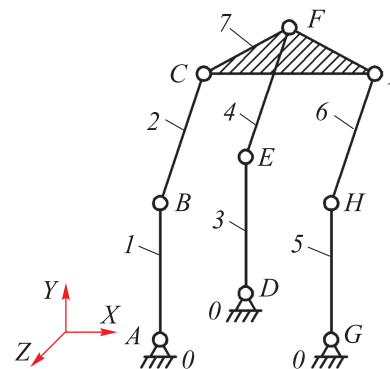


Рис. 3. Схема МПС с тремя приводными КЦ с использованием вращательных КП

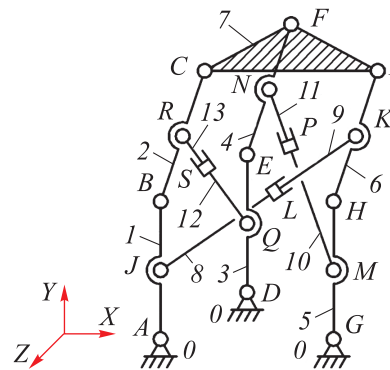


Рис. 4. Схема МПС с тремя приводными КЦ и тремя перекрестными КЦ:
1-2, 3-4, 5-6 — приводные КЦ; 7 — выходное звено;
8-9, 10-11, 12-13 — перекрестные КЦ

В исследуемом плоском механизме в качестве низших КП использованы КП пятого класса: в составе приводных КЦ — вращательные (A, B, C, D, E, F, G, H, I), в составе перекрестных КЦ — вращательные (J, K, M, N, Q, R) и поступательные (L, P, S).

Число степеней свободы механизма

$$W = 3n - 2p_n - p_v + q = 3 \cdot 13 - 2 \cdot 18 + 0 = 3.$$

Анализ результатов расчета показал, что созданный механизм имеет три степени свободы, как и прототип, приведенный на рис. 3, что подтверждает отсутствие избыточных связей.

Проведем модификацию МПС, показанного на рис. 3, путем замены вращательных КП пятого класса в приводных КЦ 1-2, 3-4 и 5-6 на поступательные КП пятого класса.

Полученный в результате модификации механизм, приведенный на рис. 5, состоит из семи подвижных звеньев, соединенных девятью КП пятого класса, и трех приводных КЦ, образованных звеньями 1-2, 3-4 и 5-6.

Приводные КЦ включают в себя звенья 1-2, 3-4 и 5-6, связанные поступательными КП пятого класса. Приводные КЦ присоединены к основанию 0 и выходному звену 7 с помощью шести вращательных КП пятого класса.

В качестве низших КП такого плоского механизма использованы КП пятого класса: вращательные (A, C, D, F, G, I) и поступательные (B, E, H).

Число степеней свободы механизма

$$W = 3n - 2p_n - p_v + q = 3 \cdot 9 - 2 \cdot 12 + 0 = 3.$$

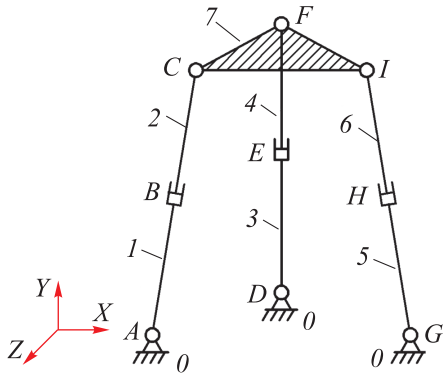


Рис. 5. Схема МПС с тремя приводными КЦ с использованием вращательных и поступательных КП: 1-2, 3-4, 5-6 — приводные КЦ; 7 — выходное звено

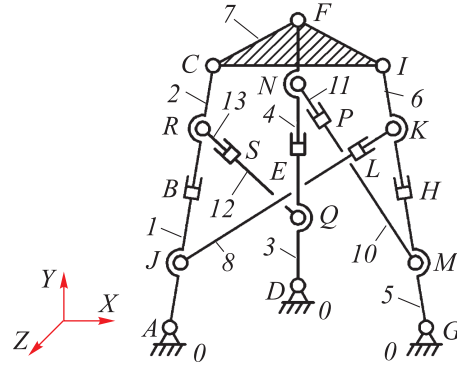


Рис. 6. Схема МПС с тремя приводными КЦ и тремя перекрестными КЦ: 1-2, 3-4, 5-6 — приводные КЦ; 7 — выходное звено; 8-9, 10-11, 12-13 — перекрестные КЦ

Анализ результатов расчета показал, что созданный механизм имеет три степени свободы, как и прототип, приведенный на рис. 4, что подтверждает отсутствие избыточных связей.

Проведем последовательное усложнение МПС, показанного на рис. 5, путем добавления одной, двух и трех структурных групп второго класса второго порядка третьего вида между ведущим и ведомым звеньями следующих соседних приводных КЦ.

Полученный путем модификации механизм (рис. 6) содержит тринадцать подвижных звеньев, соединенных восемнадцатью КП пятого класса, три приводные КЦ, образованные звеньями 1-2, 3-4, 5-6, и три перекрестные КЦ 8-9, 10-11 и 12-13.

Приводные КЦ включают в себя звенья 1-2, 3-4 и 5-6, связанные поступательными КП пятого класса. Приводные КЦ присоединены к основанию 0 и выходному звену 7 с помощью шести вращательных КП пятого класса.

Перекрестные КЦ, представляющие собой структурные группы второго класса второго порядка третьего вида, состоят из звеньев 8-9, 10-11 и 12-13, связанных поступательными КП пятого класса, и создают перекрестные связи между входным звеном 1 приводной КЦ 1-2 и выходным звеном 6 приводной КЦ 5-6, входным звеном 5 приводной КЦ 5-6 и выходным звеном 4 приводной КЦ 3-4, входным звеном 3 приводной КЦ 3-4 и выходным звеном 2 приводной КЦ 1-2. Перекрестные КЦ соединены со звеньями приводных КЦ шестью вращательными КП пятого класса.

В исследуемом плоском механизме в качестве низших КП использованы КП пятого класса: в составе приводных КЦ — вращательные

(A, C, D, F, G, I) и поступательные (B, E, H), в составе перекрестных КЦ — вращательные (J, K, M, N, Q, R) и поступательные (L, P, S).

Число степеней свободы механизма

$$W = 3n - 2p_n - p_v + q = 3 \cdot 13 - 2 \cdot 18 + 0 = 3.$$

Анализ результатов расчета показал, что синтезированный механизм имеет три степени свободы, как и прототип, приведенный на рис. 5, что подтверждает отсутствие избыточных связей.

Вывод

Исследованы механизмы параллельно-перекрестной структуры, созданные с использованием только низших КП пятого класса. Показано, что наличие в них перекрестных КЦ при увеличении общей жесткости и уменьшении размеров выходного звена позволяет сохранить точность позиционирования в пределах рабочей зоны и не налагает избыточных связей, независимо от числа КЦ и вариантов их встраивания в структуру механизма.

Литература

- [1] Merlet J.-P. *Parallel robots*. Kluwer Academic Publishers, 2000. 372 p.
- [2] Gogu G. Structural synthesis of fully-isotropic translational parallel robots via theory of linear transformations. *Eur. J. Mech. A Solids*, 2004, vol. 23, no. 6, pp. 1021–1039, doi: <https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2004.08.006>
- [3] Angeles J. The qualitative synthesis of parallel manipulators. *J. Mech. Des.*, 2004, vol. 126, no. 4, pp. 617–624, doi: <https://doi.org/10.1115/1.1667955>
- [4] Ceccarelli M. *Fundamentals of mechanics of robotic manipulation*. Springer, 2005. 422 p.
- [5] Carricato M., Parenti-Castelli V. On the topological and geometrical synthesis and classification of translational parallel mechanisms. *Proc. of the XI World Congress in Mechanism and Machine Science*, 2004, pp. 1624–1628.
- [6] Kong X., Gosselin C. *Type synthesis of parallel mechanisms*. Springer, 2007. 276 p.
- [7] Глазунов В.А. Структура пространственных механизмов. Группы винтов и структурные группы. *Справочник. Инженерный журнал*, 2010, приложение № 3. 24 с.
- [8] Glazunov V.A., Chunichin A.Yu. Development of mechanisms of parallel structure. *J. Mach. Manuf. Reliab.*, 2014, vol. 43, no. 3, pp. 37–43, doi: <https://doi.org/10.3103/S1052618814030030>
- [9] Nosova N.Y., Glazunov V.A., Palochkin S.V. et al. Synthesis of mechanisms of parallel structure with kinematic interchange. *J. Mach. Manuf. Reliab.*, 2014, vol. 43, no. 5, pp. 378–383, doi: <https://doi.org/10.3103/S1052618814050136>
- [10] Kozyrev A., Glazunov V. Finite element modeling and analysis of an isoglide-type parallel manipulator to determine its rigidity/stiffness. In: *New trends in mechanism and machines sciences*. Springer, 2015, pp. 203–210, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-09411-3_22
- [11] Laryushkin P., Glazunov V., Demidov S. Singularity analysis of 3-DOF translational parallel manipulator. In: *Advances on theory and practice of robots and manipulators*. Springer, 2014, pp. 47–54, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-07058-2_6
- [12] Глазунов В.А. *Механизмы параллельной структуры и их применение*. Москва-Ижевск, ИКИ, 2018. 1036 с.
- [13] Сусакова Т.В., Самойлова В.В., Едакин А.И. и др. Структурный синтез и анализ механизмов параллельной структуры с поступательным движением выходного звена. *Вестник научно-технического развития*, 2020, № 6, с. 13–17.
- [14] Лапиков А.Л., Масюк В.М. Анализ исторического развития многосекционных механизмов параллельной структуры. *Наукоедение*, 2017, т. 9, № 2, № 9. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/79TVN217.pdf>
- [15] Богус З.Р., Нджомон М.Н., Шишкин М.В. и др. Обзор механизмов с параллельной кинематикой. *Научные труды КубГТУ*, 2016, № 10. URL: <https://ntk.kubstu.ru/data/mc/0031/1154.pdf>
- [16] Глазунов В.А., Попов А.М., Чунихин А.Ю. и др. Механизмы параллельной структуры с пятью степенями свободы. *Межд. симпозиум Науки механизма и машины*. Баку, 2017, с. 111–115.

References

- [1] Merlet J.-P. *Parallel robots*. Kluwer Academic Publishers, 2000. 372 p.
- [2] Gogu G. Structural synthesis of fully-isotropic translational parallel robots via theory of linear transformations. *Eur. J. Mech. A Solids*, 2004, vol. 23, no. 6, pp. 1021–1039, doi: <https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2004.08.006>
- [3] Angeles J. The qualitative synthesis of parallel manipulators. *J. Mech. Des.*, 2004, vol. 126, no. 4, pp. 617–624, doi: <https://doi.org/10.1115/1.1667955>
- [4] Ceccarelli M. *Fundamentals of mechanics of robotic manipulation*. Springer, 2005. 422 p.
- [5] Carricato M., Parenti-Castelli V. On the topological and geometrical synthesis and classification of translational parallel mechanisms. *Proc. of the XI World Congress in Mechanism and Machine Science*, 2004, pp. 1624–1628.
- [6] Kong X., Gosselin C. *Type synthesis of parallel mechanisms*. Springer, 2007. 276 p.
- [7] Glazunov V.A. Structure of spatial mechanisms. Screw groups and structural groups. *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal* [Handbook. An Engineering Journal], 2010, prilozhenie no. 3. 24 p. (In Russ.).
- [8] Glazunov V.A., Chunichin A.Yu. Development of mechanisms of parallel structure. *J. Mach. Manuf. Reliab.*, 2014, vol. 43, no. 3, pp. 37–43, doi: <https://doi.org/10.3103/S1052618814030030>
- [9] Nosova N.Y., Glazunov V.A., Palochkin S.V. et al. Synthesis of mechanisms of parallel structure with kinematic interchange. *J. Mach. Manuf. Reliab.*, 2014, vol. 43, no. 5, pp. 378–383, doi: <https://doi.org/10.3103/S1052618814050136>
- [10] Kozyrev A., Glazunov V. Finite element modeling and analysis of an isoglide-type parallel manipulator to determine its rigidity/stiffness. In: *New trends in mechanism and machines sciences*. Springer, 2015, pp. 203–210, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-09411-3_22
- [11] Laryushkin P., Glazunov V., Demidov S. Singularity analysis of 3-DOF translational parallel manipulator. In: *Advances on theory and practice of robots and manipulators*. Springer, 2014, pp. 47–54, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-07058-2_6
- [12] Glazunov V.A. *Mekhanizmy parallelnoy struktury i ikh primeneniye* [Parallel structure mechanisms and their applications]. Moscow-Izhevsk, IKI Publ., 2018. 1036 p. (In Russ.).
- [13] Susakova T.V., Samoylova V.V., Edakin A.I. et al. Structural synthesis and analysis of mechanisms of parallel structure with prismatic motion of the output link. *Vestnik nauchno-tekhnicheskogo razvitiya*, 2020, no. 6, pp. 13–17. (In Russ.).
- [14] Lapikov A.L., Masyuk V.M. Analysis of historical development of multisectional parallel mechanisms. *Naukovedenie*, 2017, vol. 9, no. 2, no. 9. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/79TVN217.pdf> (in Russ.).
- [15] Bogus Z.R., Ndzhomon M.N., Shishkin M.V. et al. The review mechanism parallel kinematics. *Nauchnye trudy KubGTU* [Scientific Works of KUBSTU], 2016, no. 10. URL: <https://ntk.kubstu.ru/data/mc/0031/1154.pdf> (in Russ.).
- [16] Glazunov V.A., Popov A.M., Chunikhin A.Yu. et al. [Mechanisms of parallel structure with five degrees of freedom]. *Mezhd. simpozium Nauki mekhanizma i mashiny* [Proc. Int. Symposium of Mechanism and Machine Science]. Baku, 2017, pp. 111–115. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 04.04.2024

Информация об авторах

ПЕВНЕВ Виктор Григорьевич — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры робототехники и технической механики. ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» (119991, Москва, Российская Федерация, Ленинский пр-т, д. 65, к. 1, e-mail: pevnev.v@gubkin.ru).

Information about the authors

PEVNEV Victor Grigorievich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Robotics and Technical Mechanics. Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “GUBKIN UNIVERSITY — National University of Oil and Gas” (119991, Moscow, Russian Federation, Leninsky Prospekt, Bldg. 65, Block 1, e-mail: pevnev.v@gubkin.ru).

ДИДЕНКО Елена Владимировна — кандидат технических наук, доцент кафедры робототехники и технической механики. ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» (119991, Москва, Российская Федерация, Ленинский пр-т, д. 65, к. 1, e-mail: didenko.e@gubkin.ru).

DIDENKO Elena Vladimirovna — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor of the Department of Robotics and Technical Mechanics. Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “GUBKIN UNIVERSITY — National University of Oil and Gas” (119991, Moscow, Russian Federation, Leninsky Prospekt, Bldg. 65, Block 1, e-mail: didenko.e@gubkin.ru).

ЧЕРНЕЦОВ Роберт Александрович — кандидат технических наук, научный сотрудник. ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (101000, Москва, Российская Федерация, Малый Харитоньевский пер., д. 4, e-mail: chernetsovrobert@gmail.com).

CHERNETSOV Robert Aleksandrovich — Candidate of Science (Eng.), Researcher. Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences (101000, Moscow, Russian Federation, Maly Kharitonyevsky Lane, Bldg. 4, e-mail: chernetsovrobert@gmail.com).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Певнев В.Г., Диденко Е.В., Чернецов Р.А. Структурный синтез и классификация механизмов параллельной структуры с перекрестными связями. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2024, № 6, с. 47–54.

Please cite this article in English as:

Pevnev V.G., Didenko E.V., Chernetsov R.A. Structural synthesis and classification of mechanisms of the parallel structure with cross connections. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2024, no. 6, pp. 47–54.



**Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
предлагает читателям материалы конференции
«X Энгельмейеровские чтения.
Техника и инженерная деятельность:
социокультурные трансформации»**

Всероссийская научная конференция с международным участием «Энгельмейеровские чтения» проводится с 1997 года. После продолжительного перерыва была возобновлена традиция ежегодного проведения чтений. П.К. Энгельмейер — российский энциклопедист, выпускник Императорского Московского технического училища, инженер-изобретатель, популяризатор технической мысли, основатель философии техники в России. В сборнике публикуются материалы юбилейных X Энгельмейеровских чтений. В конференции участвовали преподаватели, магистранты и студенты МГТУ им. Н.Э. Баумана, других московских вузов и представители ближнего зарубежья. Ответственность за содержание материала принадлежит авторам и научным руководителям.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; <https://press.bmstu.ru>